

## 明 細 書

### 中空糸膜モジュール、中空糸膜モジュールユニット、及び水処理方法 技術分野

[0001] 本発明は、飲料用などの上水や、下排水の処理に主に用いられる中空糸膜モジュール及び中空糸膜モジュールユニット並びに水処理方法に関するものである。

### 背景技術

[0002] 活性汚泥処理法などに代表される生物学的水処理方法では、好気性微生物や、硝酸性窒素を除去するための脱窒細菌などがしばしば利用されている。

好気性微生物の利用においては、これら微生物の活性維持と処理能力向上のため、処理槽内を空気もしくは酸素で曝気する必要がある。このような技術の中で、流入負荷変動に対して安定な処理が可能となるよう、ポリウレタンなどの担体表面に微生物を付着させたり、ポリビニルアルコールなどで微生物を固定化させた包括固定化担体など、処理槽内の微生物濃度を高く保持させた各種固定化微生物処理法が用いられている。

また、脱窒細菌の利用においても、高分子のゲルビーズ中に菌体を包括固定し、反応に必要なガスをバブリングにより供給する方式(流動層型バイオリアクター)が提案されている。

[0003] 微生物を固定化するための担体の一例として、中空糸膜が提案されている。中空糸膜の膜表面に微生物を付着・固定化すると、単位容積辺りに収納できる膜表面積を大きくすることができる。このため、処理槽における微生物濃度を高くできると共に、処理に必要な酸素等を効率よく供給することができるので、処理効率を高めることができる。

[0004] 中空糸膜を利用した技術としては、好気性硝化菌を中空糸膜表面に繁殖させて硝化、脱窒処理を行う方法(例えば特許文献1、特許文献2参照)や、硝酸性窒素を窒素ガスに還元しうる独立栄養性細菌を中空糸に固定化してバイオリアクター素子とする方法(例えば特許文献3参照)が挙げられる。

[0005] しかしながら、このようなバイオリアクターによって大容量の被処理水を処理するた

めには、大きな膜面積が必要であると同時に被処理水を効率よく膜表面の微生物と接触させなければならない。これまでに提案されているようなモジュールやバイオリアクターでは、数L/hrレベルを超えた処理量では処理効率の低減が懸念される。また設置スペースは限られているため、大膜面積となってもコンパクトさが求められる。

[0006] さらに、中空糸膜表面上に付着している微生物が、運転を継続するに従い増殖し過ぎると、膜間で微生物が塊になるため、微生物の塊と処理水や膜から供給されるガスとの接触効率が低下する。この現象は膜面積が大きくなって中空糸膜本数が多くなれば多くなるほど顕著になってくる。

[0007] このような現象を防止するため、モジュールの下部からエアバブリングなどを行って、余分な微生物等を膜面から震い落とすこともできるが、モジュール全体に均一にエアバブリングを当てなければならず、モジュールの膜面積が大きくなるにつれて均一性が低下するという問題がある。

[0008] また、膜面積が大きくなるに伴い、多数の中空糸膜を固定部材で固定する必要がある。その場合、固定部における糸の長手方向に直交する断面積が大きくなるため、中空糸膜内部に供給するガス圧に対する耐圧性も低下するという問題もある。

特許文献1:特開平10-85787号公報

特許文献2:特開2000-218290号公報

特許文献3:特開2003-33776号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0009] 本発明は、中空糸膜面上の微生物が、被処理水及び膜面から供給されるガスと効率良く接触できると共に、過剰の微生物を除去するためのバブリング洗浄を均一かつ効率良く行うことができ、さらに供給されるガス圧に対する耐圧性が高い中空糸膜モジュールおよび中空糸膜モジュールユニットと、これらを用いた水処理方法を提供することを目的とする。本発明は、特に大容量処理を行う中空糸膜モジュール、中空糸膜モジュールユニット及びこれらを用いた水処理方法に適したものである。

課題を解決するための手段

[0010] すなわち、本発明の第一の要旨は、非多孔質層を有する中空糸膜からなるシート

状中空糸膜(1)と、固定部材(2)とから構成され、複数のシート状中空糸膜(1)が略並行、かつ開口状態となるように、シート状中空糸膜(1)の中空糸膜開口側の端部が、固定部材(2)によって固定され、固定部材(2)のシート状中空糸膜(1)が露出する側の端面形状が略矩形であり、固定部材(2)の中空糸膜開口側の端面形状が略円形である、中空糸膜モジュールである。

[0011] 本発明の第二の要旨は、前記の中空糸膜モジュールが複数個配置されてなるとともに、シート状中空糸膜(1)のシート面に垂直なモジュールの側面に、固定部材(2)の少なくとも一部が貫通する穴を有する板状部材(5)を有し、板状部材(5)が固定部材(2)とこれに係合する集水キャップ(6)とで挟んで固定されている、中空糸膜モジュールユニットである。

[0012] 本発明の第三の要旨は、非多孔質層を有する中空糸膜からなるシート状中空糸膜(1)と、固定部材(2)とから構成され、複数のシート状中空糸膜(1)が略並行、かつ開口状態となるように、シート状中空糸膜(1)の中空糸膜開口側の端部が、固定部材(2)によって固定され、固定部材(2)のシート状中空糸膜(1)が露出する側の端面形状が略矩形であり、固定部材(2)の中空糸膜開口側の端面形状が略円形である、中空糸膜モジュール、又はこれを複数個配置した中空糸膜モジュールユニットを使用し、シート状中空糸膜(1)の外表面に微生物を付着させ、この外表面に被処理水を供給し、膜の中空部に気体を供給して被処理水を浄化する、水処理方法である。

#### 発明の効果

[0013] 本発明の中空糸膜モジュールは、固定部材(2)のシート状中空糸膜(1)が露出する側の端面形状が略矩形であり、かつ、固定部材(2)の中空糸膜開口側の端面形状が略円形であるため、洗浄性に優れるシート状中空糸膜を用いたモジュールにおいて膜面積を大きくした場合でも、中空糸膜固定部の耐圧性が低下することがない。

[0014] 本発明の中空糸膜モジュールユニットは、固定部材(2)の少なくとも一部が貫通する穴を有する板状部材(5)を設け、板状部材(5)により中空糸膜モジュールが位置固定されており、かつ固定部材(2)と、これに係合する集水キャップ(6)とで、板状部材(5)を挟んでいるので、中空糸膜モジュールを簡便かつ確実に固定することができるとともに、中空糸膜の集積度を向上させることができる。

[0015] 本発明の水処理方法は、前記の中空糸膜モジュールや中空糸膜モジュールユニットを使用し、シート状中空糸膜の外表面に微生物を付着させ、この外表面に被処理水を供給し、膜の中空部に気体を供給することによって、被処理水を浄化するので、膜面上の微生物が、被処理水及び膜面から供給される気体と効率良く接触できるとともに、過剰の微生物を除去するためのバブリング洗浄を均一かつ効率良く行うことができる。

#### 発明を実施するための最良の形態

[0016] 以下、本発明について図面を基に詳しく説明する。

図1は、本発明の中空糸膜モジュールの一例を示す斜視図である。中空糸膜モジュール(A)は、非多孔質層を有する中空糸膜からなるシート状中空糸膜(1)、固定部材(2)、キャップ(6)とから構成される。シート状中空糸膜(1)が等間隔で複数平行に配置され、その両端が、開口状態を保ったまま固定部材(2)により固定され、固定部材(2)にはキャップ(6)が装着されている。

[0017] 本発明に用いられるシート状中空糸膜(1)は、多数本の中空糸膜がシート状に配列されているものであり、例えば、中空糸膜が編成又は織成等の任意の手段で並列状に形成されたものである。この具体的な製法としては、特公平4-26886号公報、特開平1-266258号公報、特開平3-119159号公報、特開平10-57782号公報等に記載されているが、これらに限定されるものではない。

また、本発明の中空糸膜モジュールを構成するシート状中空糸膜(1)は、非多孔質層を有する中空糸膜からなるものである。中空糸膜としては、非多孔質層だけの膜でも使用可能であるが、膜そのものの機械的強度を保持するためにはある程度の膜厚が必要となる。膜厚が厚くなるとガスの透過性が低くなり過ぎてしまい、処理に要求される量を満たすことができなくなり、本発明の水処理方法に適用しにくくなる可能性がある。非多孔質層を有する中空糸膜としては、非多孔質層の両面に多孔質層が配された三層構造を有する三層複合中空糸膜を用いることが好ましい。

[0018] このような中空糸膜において、三層構造の中間に位置する非多孔質層は、ガス透過性の材料で構成されることが必要である。非多孔質層はガス透過性ではあるものの、多孔質膜に比べるとガス透過の際の抵抗は大きくなるので、処理に必要なガス供

給量を容易にコントロールすることができ、供給ガス量に対する処理効率を向上することができる。

[0019] 三層複合中空糸膜としては、ガス透過性の観点から非多孔質層の厚みが0.3〜3  $\mu\text{m}$ であり、多孔質層の厚みがそれぞれ5〜100  $\mu\text{m}$ である三層複合中空糸膜を用いると、機械的強度が高くかつ生物処理に必要な気体の透過量を満足することができる。

また、三層複合中空糸膜の膜厚は、内径に対する膜圧比(膜厚/内径)を0.1以上とするのが好ましい。膜厚比を0.1以上とすることによって、膜の強度が向上し、供給される気体によって膜が破裂しにくくなる傾向にある。膜圧比の上限は特に限定されるものではないが、0.6以下とするのが、膜の強度とガス透過性とのバランスが良好となる傾向にあり好ましい。

三層複合中空糸膜の内径としては特に規定されるものではないが、その外径は、100〜3000  $\mu\text{m}$ の範囲とするのが好ましい。外径を100  $\mu\text{m}$ 以上とすることによって、シート状中空糸膜内やシート状中空糸膜間で中空糸膜同士が絡みにくくなる傾向にある。特に、本発明の水処理方法に適用する場合においては、中空糸膜同士が絡みにくくなることによって、中空糸膜外側に供給される原水が膜面上の微生物とより均一に接触するために、水処理効率が向上する傾向にある。また、外径を3000  $\mu\text{m}$ 以下とすることによって、膜充填率が高く、優れた水処理効率を有するモジュールを得ることができる傾向にある。

さらに、三層複合中空糸膜の多孔質層の孔径は0.005〜1  $\mu\text{m}$ の範囲にするのが好ましい。孔径を0.005  $\mu\text{m}$ 以上とすることによって、ガスの透過抵抗が減少し、膜面上の微生物に十分な量のガスを供給でき、優れた水処理効率を得ることができる傾向にある。より好ましくは、0.01  $\mu\text{m}$ 以上である。また、孔径を1  $\mu\text{m}$ 以下とすることによって、非多孔質層が液体によって濡れにくくなるために、非多孔質層の劣化を低減できる傾向にある。より好ましくは、0.8  $\mu\text{m}$ 以下である。

[0020] 三層複合中空糸膜の非多孔質層を構成するポリマーとしては、ポリジメチルシロキサン、シリコンとポリカーボネートの共重合体等のシリコンゴム系ポリマー、ポリ(4-メチルペンテン-1)、低密度ポリエチレンなどのポリオレフィン系ポリマー、パーフルオ

ロアルキル系ポリマー等のフッ素含有ポリマー、エチルセルロース等のセルロース系ポリマー、ポリフェニレンオキサイド、ポリ(4-ビニルピリジン)、ウレタン系ポリマーが挙げられる。また、これらのポリマー素材の共重合体あるいはブレンドポリマー等も用いることができる。

- [0021] 三層複合中空糸膜の多孔質層を構成するポリマー素材としては、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリ(3-メチルブテン-1)、ポリ(4-メチルペンテン-1)等のポリオレフィン系ポリマー、ポリフッ化ビニリデン、ポリテトラフルオロエチレン等のフッ素系ポリマー、ポリスチレン、ポリエーテルエーテルケトン、ポリエーテルケトン等のポリマーを用いることができる。

例えば、中空糸膜をシート状にするにあたって、中空糸膜織物を編む場合には、中空糸膜の加工のし易さ等が求められるので、多孔質層はポリエチレン、ポリプロピレン等の強伸度の高い材質のものが好適に用いられる。

非多孔質層を構成するポリマー素材と、多孔質層を構成するポリマー素材の組み合わせについては特に限定されず、異種のポリマーはもちろん、同種のポリマーで構成されていても構わない。

本発明で用いる非多孔質層を含む中空糸膜のガス透過性は、 $0.01 \sim 50 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{MPa}$ の範囲とするのが好ましい。中空糸膜のガス透過性を $0.01 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{MPa}$ 以上とすることによって、十分な量のガスを膜面上の微生物に供給することができ、水処理の効率が向上する傾向にある。より好ましくは、 $0.05 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{MPa}$ 以上である。また、中空糸膜のガス透過性を $50 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{MPa}$ 以下とすることによって、水処理に利用されないガスを低減でき、ガスの利用効率が向上するとともに、過剰な気泡の発生によって、膜面に付着している微生物が必要以上に脱落することを防ぐことができる傾向にある。より好ましくは、 $5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{MPa}$ 以下である。

- [0022] 図2は、本発明の中空糸膜モジュールのシート状中空糸膜固定部の一例を示す図であり、シート状中空糸膜のシート面に垂直な方向における断面図である。シート状中空糸膜(1)は、等間隔で複数が略平行に配置されており、その端部は固定部材(2)により固定されている。

固定部材(2)は、シート状中空糸膜(1)の露出する側の端面形状が略矩形であり、

中空糸膜が開口する側の端面形状が略円形となっている。中空糸膜開口側の固定部材(2)の端面形状が円筒形である場合、直方体である場合よりもたわみが小さく、応力が分散することから、その耐圧性能は格段に高くなる。したがってこのような形状とすることにより、シート状中空糸膜を数多く配した場合であっても、中空糸膜の集積度、洗浄性、耐圧性いずれも良好にすることが可能になる。

[0023] なお、ここでいう固定部材(2)のシート状中空糸膜(1)が露出する側とは、固定部材(2)から、シート状中空糸膜(1)の表面に微生物が付着できる有効膜面として、シート状中空糸膜(1)が突出している側のことをいい、固定部材(2)の中空糸膜が開口する側とは、固定部材(2)において、中空糸膜の中空部が開口している側のことをいう。

[0024] 固定部材(2)の形状は、例えばシート状中空糸膜(1)が露出する側から開口端面側に向かって連続的に変化するような形状であっても構わないが、図1、図2に示すように、中空糸膜が露出する側に、形状が略直方体である直方体部(3)と、中空糸膜が開口する側に、形状が略円筒である円筒部(4)とを有するようにすると、以下のような優れた効果を同時に得ることが可能となることから好ましい。

[0025] 1. 一つの固定部材(2)の直方体部(3)に、多数のシート状中空糸膜(1)を、間隔を保ちつつ固定することができるため、洗浄性に優れる。

2. 複数の中空糸膜モジュール(A)を並べるにあたって、直方体部(3)の側面同士を重ね合わせることにより、無駄な空間を使用することなく、中空糸膜の集積度を極めて高い状態にすることができる。

3. 直方体部(3)と円筒部(4)との間で固定部材に段差ができるため、固定部材と図4にあるようなハウジング(10)内面の接着面積を増すことができ、耐圧性を高くすることができる。

[0026] 固定部材(2)の円筒部(4)は、円筒の中心軸に垂直な断面形状が完全な円形である必要は必ずしもなく、楕円形状、ソラメ状、例えば12角形や16角形のような円に近い多角形状などの略円形であればよいが、円形とすることが最も好ましい。

[0027] また、円筒部(4)は、その直径をD(mm)、筒中心軸方向の長さをL(mm)としたとき、

$$0.2 \leq L/D \leq 1$$

の関係を満足することが好ましい。

- [0028] 中空糸膜固定部の耐圧性は、円筒部(4)の $L/D$ の影響を大きく受ける。 $L/D$ が0.2を下回ると耐圧性が不足する傾向にあるため、 $L/D$ の下限は0.2以上であり、0.25以上がより好ましい。一方、1を越えると中空糸膜有効部の損失が多くなる傾向にあるため、 $L/D$ の上限は1以下であり、0.8以下がより好ましい。

なお、ここでいう円筒部(4)の直径 $D$ とは、円筒部(4)の断面が真円でない場合は、最も長い部分の径をいう。

- [0029] 円筒部(4)の $L$ や $D$ の寸法は、中空糸膜モジュールのサイズにあわせ適宜選定すればよいが、 $D$ が小さすぎるとシート状中空糸膜(1)の配列が困難になる場合があるため、下限としては30mm以上が好ましく、50mm以上がより好ましい。一方大きすぎるとモジュールの加工性が低下したり、耐圧性が不足する場合があることから、上限は400mm以下が好ましく、300mm以下がより好ましい。

- [0030] また、 $L$ が小さすぎると耐圧性が不足する場合があるため、下限は10mm以上が好ましく、50mm以上がより好ましい。一方大きすぎると中空糸膜有効部の損失が多く、通水抵抗も増加する場合があるため、 $L$ の上限は300mm以下が好ましく、200mm以下がより好ましい。

- [0031] 図3は、本発明の中空糸膜モジュールの中空糸膜固定部の一例を示す斜視図である。本発明の中空糸膜モジュール(A)は、直方体部(3)の中空糸膜が露出する端面の長辺部の長さを $W$ (mm)、円筒部(4)の直径を $D$ (mm)としたとき、

$$1 \leq W/D \leq 2$$

の関係を満足することが好ましい。

- [0032]  $D$ に対し $W$ を大きくすることにより、中空糸膜固定部の耐圧性を低下させることなく中空糸膜モジュールの膜面積を増やすことができる。しかし、 $W/D$ が大きすぎると、シート状中空糸膜の絞り込みがきつくなるため、シート状中空糸膜の整列が困難となり、中空糸膜の有効長が中空糸膜シート毎にばらつく問題を生じる場合がある。したがって、 $W/D$ の上限は2以下であり、1.8以下がより好ましい。

一方、 $W/D$ が小さすぎると、加工は容易になるが耐圧性が低下する問題が生じる



場合がある。したがって、 $W/D$ の下限は1以上であり、1.2以上がより好ましい。

- [0033]  $W$ は、中空糸膜モジュールの膜面積にあわせ適宜選定すればよいが、小さすぎるとモジュール膜面積を大きく取り難くなる傾向にある。したがって、 $W$ の下限は40mm以上であり、80mm以上がより好ましい。

一方大きすぎると、モジュールの加工性が低下する傾向にある。したがって、 $W$ の上限は500mm以下であり、より好ましくは400mm以下である。

- [0034] なお、図3においては、直方体部(3)の縦方向の方が長い場合について、 $W$ を図示したが、横方向(シート状中空糸膜積層方向)の方が長い場合には、横方向を $W$ とする。

- [0035] 直方体部(3)の中空糸膜繊維軸方向の長さについては、中空糸膜の有効長、外径、シート状中空糸膜の幅等により中空糸膜の配置形状が変化するため、適宜選定すればよいが、あまり短いと、等間隔で複数配置されたシート状中空糸膜を直方体から円筒に集束し難くなる傾向にあるため、下限としては5mm以上が好ましく、10mm以上がより好ましい。

- [0036] 一方、長すぎると中空糸膜有効部の損失が多くなる傾向にあるため、直方体部(3)の中空糸膜繊維軸方向の長さの上限は100mm以下が好ましく、70mm以下がより好ましく、50mm以下が更に好ましい。

- [0037] 本発明の中空糸膜モジュール(A)は、複数のシート状中空糸膜(1)が等間隔で略平行に配置されている。中空糸膜をシート状に配置する方法に特に制限はないが、シート状に編成した中空糸膜シートが好適に用いられる。シート状中空糸膜を配置する間隔は、被処理水の性状に合わせ適宜選定することができるが、例えば2〜100mmを挙げることができる。シート状中空糸膜の枚数についても、モジュール膜面積に合わせ適宜選定することができる。

各中空糸膜の内部へ処理に必要なガスを供給するために、円筒部(4)にはキャップ(6)が配される。このキャップは供給されるガス配管に通じている。キャップ(6)の装着は、円筒部(4)の外周に設けられたねじ(8)と、キャップ(6)に設けられたねじ(8)とを係合させ、Oリング等のシール部材(9)でシールするようにすると、取り外しが簡便であり、かつ確実にシールできる。

[0038] 本発明の中空糸膜モジュールにおける、中空糸膜の長手方向の長さは、シート状中空糸膜(1)の長さと固定部材(2)のサイズとの組み合わせで、適宜選定することができるが、300〜3000mmの範囲とするのが好ましい。これは、300mm以上とすることによって、モジュール容積当たりの中空糸膜充填量を十分に確保できる傾向にあるためである。また、3000mm以下とすることによって、モジュールの運搬や装着作業が容易になる傾向にあるためである。

また、本発明の中空糸膜モジュールにおける、中空糸膜の長手方向以外の寸法については、固定部材(2)の直方体部(3)の中空糸膜が露出する端面の長辺部の長さに合わせるのが好ましく、40〜500mmの範囲とするのが好ましい。

[0039] 図4は、本発明の中空糸膜モジュールにおける中空糸膜固定部の別の一例を示す図であり、シート状中空糸膜のシート面に垂直な方向における断面図である。

この例においては、シート状中空糸膜(1)は、ハウジング(10)内で、固定部材(2)によって固定されている。

なお、図4の例のように、ハウジング(10)を有する場合であっても、前述の(D)、(L)、(W)は、ハウジング(10)がない場合と同様に、固定部材(2)の寸法を基準とする。

[0040] ハウジング(10)を設ける場合であっても、キャップ(6)は、円筒部(4)の外周に設けられたねじ(8)と、キャップ(6)に設けられたねじ(8)とを係合させ、Oリング等のシール部材(9)でシールするようにすればよい。また、ハウジング(10)と一体とすることも可能である。あるいは、固定部材(2)に接着しても構わない。

[0041] 図5は、本発明の中空糸膜モジュールの一例を示す斜視図である。この例の中空糸膜モジュール(A)は、シート状中空糸膜(1)、固定部材(2)、キャップ(6)、支持部材(11)とから主として構成される。シート状中空糸膜(1)は、等間隔で複数平行に固定部材(2)に配置され、その一方の端部が固定部材(2)により固定され、他方の端部は支持部材(11)によって支持されている。また、固定部材(2)には、キャップ(6)が装着されている。

[0042] 支持部材(11)は、複数のシート状中空糸膜(1)を等間隔で略平行に支持できるものであれば、その構造等特に制限無く用いることができ、例えば樹脂を塗布して全体

を固めてもよいし、棒状、糸状等の部材に中空糸膜を固定してもよい。また、中空糸膜を中央部で折り返してU字状にし、折り返し部分を支持部材(11)で固定するようにすることもできる。

[0043] 処理する規模が大きい場合、複数の中空糸膜モジュールを用いて、中空糸膜モジュールユニットとすると、取扱い性に優れるため好ましい。この際、中空糸膜モジュールユニットは、洗浄性を損なうことなく、膜の集積度をできるだけ高くすることが好ましい。

[0044] 図6は、本発明の中空糸膜モジュールユニットの一例を示す斜視図である。中空糸膜モジュールユニット(B)は、中空糸膜モジュール(A)、板状部材(5)、キャップ(6)、サイドプレート(12)から主として構成される。

[0045] 板状部材(5)には4つの穴が設けてある。そして、中空糸膜モジュール(A)のシート面が鉛直方向を向き、中空糸膜の繊維軸方向が水平方向を向くように、円筒部(4)をこの穴に挿入し、突出した円筒部(4)にキャップ(6)を装着することにより、板状部材(5)によって中空糸膜モジュール(A)が固定される。

本発明の中空糸膜モジュールユニットでは、各モジュールの固定部材(2)の直方体部(3)が組み合わされることによって、一つの四角形を形成することができるが、板状部材(5)のサイズは、この四角形とほぼ同一のサイズとするのが好ましい。

また、板状部材(5)に形成される穴は、各モジュールの固定部材(2)の円筒部(4)が無理なく挿入できる大きさであればよく、円筒部(4)の最大径よりも3〜15mm程度大きい径の穴が形成されているのが好ましい。

[0046] キャップ(6)の装着は、前述したように、円筒部(4)とキャップ(6)に設けたねじ(8)の係合によって行うと、簡便かつ確実に行うことができる。このとき、図7に示すように、板状部材(5)に設けた穴よりもキャップ(6)を大きくすることにより、キャップ(6)と板状部材(5)によって中空糸膜モジュール(A)の位置固定を行うことができる。

板状部材(5)に中空糸膜モジュール(A)を合計4本固定し、シート状中空糸膜(1)のシート面に沿った両側面から、サイドプレート(12)を装着することにより、中空糸膜モジュールユニット(B)が組み立てられる。

なお、図6の例では、中空糸膜モジュール(A)が4本からなる中空糸膜モジュール

ユニット(B)を例示したが、必要に応じ本数は調製することができる。

- [0047] 本発明の中空糸膜モジュールユニットにおける中空糸膜の長手方向の長さは、本発明の中空糸膜モジュールにおける中空糸膜の長手方向の長さに準ずるものであり、300〜3000mmの範囲とするのが好ましい。

モジュールを水平方向に1個だけ配置する場合、本発明の中空糸膜モジュールユニットにおける中空糸膜の長手方向以外のサイズは、固定部材(2)の大きさによって決定されるものである。複数個のモジュールを水平方向に並列して配置する場合は、その水平方向の長さを2000mm以下とするのが、ユニットの取り扱い性の点から好ましい。また、複数個のモジュールを上方へ積み上げて配置する場合は、その積み上げた高さを1500mm以下とするのが、ユニットの取り扱い性の点から好ましい。

- [0048] サイドプレート(12)は、中空糸膜モジュールユニット(B)の形状を維持する機能と、スクラビングエアを外に漏らすことなく中空糸膜に集中させる機能を有する。

- [0049] サイドプレート(12)の例としては、ステンレス鋼、合成樹脂、FRP等の、剛性、強度を有する板を用いることができる。この際、板の相対する2方或いは4方の端部を折り曲げて用いると、板を薄くして軽量化しても、強度を維持できるため好ましい。また、端部の曲げ角度が概略直角となるように折り曲げて用いると、後述するように、中空糸膜モジュールユニット(B)を鉛直方向に複数個積み上げて用いる場合、端部同士が向かい合うため、例えば穴をあけてボルトで留める等、ユニット同士の固定が容易となるため好ましい。

この他、サイドプレート(12)としては、ステンレス鋼等の枠組みに、樹脂、軽合金等の板を貼り付けたものを用いることもできる。また、合成樹脂やガラス等の透明板を単独あるいは枠に貼り付けて用いると、外部から中空糸膜モジュールを目視でき、洗浄性が良好に保たれているか否か確認が可能であるため、より好ましい。

- [0050] サイドプレート(12)の中空糸膜の長手方向の長さは、本発明の中空糸膜モジュールユニットを構成する両サイドの板状部材(5)間を連結できる長さであることが好ましい。また、鉛直方向については、上側に位置するモジュールの直方体部(3)の上端から、下側に位置するモジュールの直方体部(3)の下端の長さとするのが好ましい。このようなサイズのサイドプレート(12)を使用することによって、スクラビングエアが

ユニット外に漏れることがなくなり、スクラビングエアーを中空糸膜に効率的に当てることができる。

- [0051] なお、サイドプレート(12)の代わりに、枠組みだけを用いたり、棒状部材を用いて中空糸膜モジュールユニット(B)の形状を維持するようにすることも可能である。

また、中空糸膜モジュール(A)、板状部材(5)、キャップ(6)、サイドプレート(12)の部材の全ての材質を合成樹脂とすると、酸を用いて洗浄を行った場合であっても、各部材が腐食する懸念をなくすることができる。

- [0052] 中空糸膜モジュール(A)は、固定部材(2)の直方体部(3)で接するように、隙間無くユニット化されており、バブリングエアーをユニット全体に均等に供給することが可能である。

このようにして組み上げた中空糸膜モジュールユニット(B)を、さらに横方向あるいは鉛直方向に複数個並べて一体化すると、処理する規模に応じて中空糸膜の面積を容易に調整できる。

- [0053] この際、中空糸膜モジュールユニット(B)を配置する処理水槽の深さによる制約はあるが、図8に示すように、鉛直方向に複数個の中空糸膜モジュールユニット(B)を積み上げて一体化することは、設置面積あたりの中空糸膜の集積度を向上させる観点から好ましい。中空糸膜モジュールユニット(B)を積み上げる段数は、例えば2〜10段である。中空糸膜モジュールユニット(B)を、下方に配した散気装置によるバブリングで洗浄する場合、積み上げる段数は4〜6段であることが好ましい。

- [0054] 鉛直方向に複数個の中空糸膜モジュールユニット(B)を積み上げる場合、隣接する中空糸膜モジュールのシート状中空糸膜(1)同士の鉛直方向の間隔が広すぎると、バブリングエアーが、下方に位置する中空糸膜モジュールの膜面に衝突したあと、その上に位置する中空糸膜モジュールの膜面に上昇するにあたって、バブリングエアー同士が合体し、大きな径となる傾向にある。その結果バブリングエアーの分散性が悪くなり、上方に位置する中空糸膜モジュールほど、膜面洗浄の均一性が保てなくなる傾向にある。

- [0055] このため、シート状中空糸膜(1)同士の鉛直方向の間隔は、好ましくは70mm以下、より好ましくは、60mm以下とすることにより、バブリングエアーが、下方に位置する

中空糸膜モジュールの膜面に衝突したあと、その上に位置する中空糸膜モジュールの膜面に上昇するにあたって分散性を保つため、鉛直方向に複数の中空糸膜モジュールを積み上げた場合であっても、洗浄性を損なうことがない。

- [0056] なお、ここでいうシート状中空糸膜(1)同士の鉛直方向の間隔とは、上方に位置する中空糸膜モジュールの、シート状中空糸膜(1)の固定部分の最下端部と、その直下に位置する中空糸膜モジュールの、シート状中空糸膜(1)の固定部分の最上端部との間隔をいい、エアバブリングにより揺動することにより、可変する部位同士の間隔をいうものではない。
- [0057] シート状中空糸膜(1)同士の鉛直方向の間隔は、あまり短すぎると中空糸膜同士が絡まってしまい、洗浄性が損なわれる場合があるため、下限としては5mm以上とすることが好ましく、10mm以上とすることが好ましい。
- [0058] 鉛直方向に複数個の中空糸膜モジュールユニット(B)を積み上げる際は、各々のキャップ(6)へ処理に必要なガスを供給できるように配置する必要がある。この際、キャップ(6)同士を、鉛直方向に伸びる配管部材(7)によって連結すると、コンパクトかつ容易に連結することができる。
- [0059] 配管部材(7)は、例えばユニオン継手、フランジ継手、チーズ継手、フレキシブル配管材等を使用し、キャップ(6)と配管部材(7)、あるいは複数の配管部材(7)同士を連結すればよい。
- [0060] 配管部材(7)の材質は、機械的強度、耐久性を有するものであればよく、例えばポリカーボネート樹脂、ポリスルホン樹脂、アクリル樹脂、ABS樹脂、変性PPE(ポリフェニレンエーテル)樹脂、塩化ビニル樹脂、ポリオレフィン(ポリプロピレン、ポリエチレン等)樹脂のほか、ステンレス鋼、青銅、黄銅、鋳鋼などを用いることができる。
- [0061] 本発明の中空糸膜モジュールに用いられる固定部材(2)としては、中空糸膜、ハウジング(10)との十分な接着強度を有し、各用途で求められる要求性能を満たすものを適宜選定して使用することができ、例えば、ポリウレタン樹脂、エポキシ樹脂、シリコン樹脂、不飽和ポリエステル樹脂等の熱硬化性樹脂や、ポリウレタン樹脂、エチレン酢酸ビニル共重合体、ポリオレフィン樹脂等の熱可塑性樹脂を使用することができる。中空糸膜の固定方法としては、熱可塑性樹脂を用いる場合は加熱溶融させ流し込

む方法や、熱硬化性樹脂を用いる場合は、遠心力を使用する方法や自重で流し込む方法等、公知の方法を用いることができる。

[0062] ハウジング(10)を使用する場合、その材質は各用途の要求性能に合わせ適宜選定し使用することができる。例えば、ポリオレフィン、ポリカーボネート、変性ポリフェニレンエーテル、ABS樹脂、ポリ塩化ビニル等が挙げられ、固定部材(2)との接着性が低い場合にはプライマー処理を施して使用することも可能である。

[0063] 本発明の水処理方法は、中空糸膜の外表面に被処理水を供給し、中空糸膜の中空部に気体を供給して、中空糸膜の外表面に付着した微生物によって被処理水を浄化するにあたって、前述した本発明の中空糸膜モジュール又は中空糸膜モジュールユニットを用いる。

[0064] 中空糸膜の中空部に供給する気体は、中空糸膜外表面に付着させる微生物の種類や処理対象となる被処理水中の成分の種類によって適宜選定されるものであるが、例えば空気、酸素、窒素、水素などが挙げられる。

[0065] ここで、気体として水素を用いる場合、水素は水に対する溶解度が極めて低いことから、多孔質膜を用いて供給すると、供給量が過剰になりやすく、そのほとんどが水へ溶解することなく、また微生物に利用されることなく系外に排出されることになって、利用効率が極めて低くなる。これに対して非多孔質膜を利用すると、水への溶解度や微生物の利用量に応じた供給量が調節しやすく、ガス供給量に対して効率の良い処理を行うことができるため、本発明の水処理方法は、気体として水素を用いる場合に特に好適である。

[0066] 気体として水素を用いる際、膜を透過してきた水素が電子供与体となって、被処理水中に存在する電子受容体成分が微生物中で酸化還元反応を起こし、被処理水中の電子受容体成分が還元されるものと考えられる。

[0067] 被処理水としては、河川水や湖沼水、下水などが挙げられるが、これらの被処理水中の電子受容体成分には、硝酸イオン、亜硝酸イオン、過塩素酸イオン、酸素などが挙げられる。この中で有害な成分として硝酸イオン、亜硝酸イオン、過塩素酸イオンが相当するが、本発明における水処理方法を利用して硝酸イオン、亜硝酸イオンは窒素に、過塩素酸イオンは塩素イオンに、それぞれ無害な物質に変換することがで

きる。

[0068] 本発明の水処理方法は、中空糸膜の外表面は微生物が付着するとともに水とも接しているため、運転を継続するにしたがって、水蒸気の透過によって気体供給側となる中空糸膜の中空部に透過水や凝縮水が蓄積してくる。中空糸膜の中空部に蓄積した水は、気体供給に対する抵抗となり、膜の利用効率を低下することになる。その結果、装置としての処理能力が低下してしまうことになる。

[0069] このような性能低下を起こさず能力を維持するためには、以下のような運転方法が好ましい。すなわち、図1に示すような中空糸膜の両端部が相対して固定された中空糸膜モジュールを用いて、中空糸膜の中空部に水が溜まった際に、中空糸膜の一方の開口端面から加圧ガスを圧送して、もう一方の開口端面側は開放することにより、中空糸膜の中空部に溜まった水を排出することが好ましい。このような操作を行うことで、常に抵抗なく膜外表面の微生物に気体を供給することができ、効率よく処理を行うことができる。

[0070] 溜まった水の排出は、手動にて適宜行っても構わないが、一定期間ごとに自動的に行うように、タイマーやシーケンサー等を用いて一連の操作を自動化することが好ましい。

なお、水の排出に使用する加圧ガスは、被処理水の浄化のために使用する気体と同じものを用いるのが好ましいが、別の気体としても構わない。

#### 図面の簡単な説明

[0071] [図1]本発明の中空糸膜モジュールの一例を示す斜視図である。

[図2]本発明の中空糸膜モジュールの一例を示す断面図である。

[図3]本発明の中空糸膜モジュールの一例を示す斜視図である。

[図4]本発明の中空糸膜モジュールの一例を示す断面図である。

[図5]本発明の中空糸膜モジュールの別の一例を示す斜視図である。

[図6]本発明の中空糸膜モジュールユニットの一例を示す斜視図である。

[図7]本発明の中空糸膜モジュールユニットの一例を示す断面図である。

[図8]本発明の中空糸膜モジュールユニットの別の一例を示す断面図である。

#### 符号の説明



- [0072]
- |    |          |
|----|----------|
| 1  | シート状中空糸膜 |
| 2  | 固定部材     |
| 3  | 直方体部     |
| 4  | 円筒部      |
| 5  | 板状部材     |
| 6  | 集水キャップ   |
| 7  | 配管部材     |
| 8  | ねじ       |
| 9  | シール部材    |
| 10 | ハウジング    |
| 11 | 支持部材     |
| 12 | サイドプレート  |

## 請求の範囲

- [1] 非多孔質層を有する中空糸膜からなるシート状中空糸膜(1)と、固定部材(2)とから構成され、複数のシート状中空糸膜(1)が略並行、かつ開口状態となるように、シート状中空糸膜(1)の中空糸膜開口側の端部が、固定部材(2)によって固定され、固定部材(2)のシート状中空糸膜(1)が露出する側の端面形状が略矩形であり、固定部材(2)の中空糸膜開口側の端面形状が略円形である、中空糸膜モジュール。
- [2] 固定部材(2)は、形状が略直方体である直方体部(3)をシート状中空糸膜(1)が露出する側に有するとともに、形状が略円筒である円筒部(4)を中空糸膜が開口する側に有する、請求項1記載の中空糸膜モジュール。
- [3] 円筒部(4)が、直径をD(mm)、長さをL(mm)とした場合において次式を満足する、請求項2記載の中空糸膜モジュール。
- $$0.2 \leq L/D \leq 1$$
- [4] Dが30〜400mmの範囲である、請求項3記載の中空糸膜モジュール。
- [5] Lが10〜300mmの範囲である、請求項3記載の中空糸膜モジュール。
- [6] 直方体部(3)の、シート状中空糸膜(1)露出側端面の長辺部の長さをW(mm)とし、円筒部(4)の直径をD(mm)とした場合において次式を満足する、請求項2記載の中空糸膜モジュール。
- $$1 \leq W/D \leq 2$$
- [7] Wが40〜500mmの範囲である、請求項6記載の中空糸膜モジュール。
- [8] 非多孔質層を含む中空糸膜のガス透過性が、 $0.01 \sim 50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{MPa}$ の範囲である、請求項1記載の中空糸膜モジュール。
- [9] 非多孔質層を有する中空糸膜が、非多孔質層の両面に多孔質層が配された三層構造を有する三層複合中空糸膜である、請求項1記載の中空糸膜モジュール。
- [10] 非多孔質層がガス透過性の材料で構成されている、請求項9記載の中空糸膜モジュール。
- [11] 非多孔質層の厚みが $0.3 \sim 3 \mu\text{m}$ であり、多孔質層の厚みが $5 \sim 100 \mu\text{m}$ である、請求項9記載の中空糸膜モジュール。
- [12] 三層複合中空糸膜の内径に対する膜圧比(膜厚/内径)が0.1以上である、請求

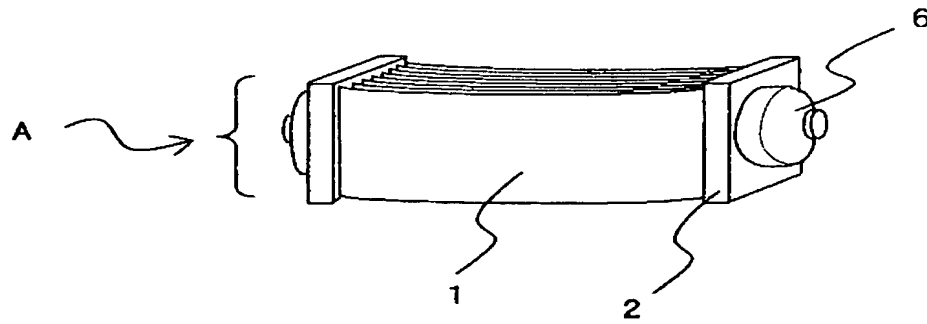
項9記載の中空糸膜モジュール。

- [13] 三層複合中空糸膜の外径が、100～3000  $\mu\text{m}$ の範囲である、請求項9記載の中空糸膜モジュール。
- [14] 多孔質層の孔径が0.005～1  $\mu\text{m}$ の範囲である、請求項9記載の中空糸膜モジュール。
- [15] 多孔質層がポリオレフィン系ポリマーから構成される、請求項9記載の中空糸膜モジュール。
- [16] 非多孔質層を有する中空糸膜からなるシート状中空糸膜(1)と、固定部材(2)とから構成され、複数のシート状中空糸膜(1)が略並行、かつ開口状態となるように、シート状中空糸膜(1)の中空糸膜開口側の端部が、固定部材(2)によって固定され、固定部材(2)のシート状中空糸膜(1)が露出する側の端面形状が略矩形であり、固定部材(2)の中空糸膜開口側の端面形状が略円形である中空糸膜モジュールが複数個配置されているとともに、シート状中空糸膜(1)のシート面に垂直なモジュールの側面に、固定部材(2)の少なくとも一部が貫通する穴を有する板状部材(5)を有し、板状部材(5)が固定部材(2)とこれに係合する集水キャップ(6)とで挟んで固定されている、中空糸膜モジュールユニット。
- [17] 請求項16記載の中空糸膜モジュールユニットが複数個、鉛直方向に重ねて配置されると共に、シート状中空糸膜(1)のシート面が鉛直方向となるように配置され、鉛直方向に隣接する集水キャップ(6)同士が、鉛直方向に伸びる集水部材(7)によって連結され、シート状中空糸膜(1)のシート面に平行な側面に、サイドプレート(12)が配置されている、中空糸膜モジュールユニット。
- [18] 非多孔質層を有する中空糸膜からなるシート状中空糸膜(1)と、固定部材(2)とから構成され、複数のシート状中空糸膜(1)が略並行、かつ開口状態となるように、シート状中空糸膜(1)の中空糸膜開口側の端部が、固定部材(2)によって固定され、固定部材(2)のシート状中空糸膜(1)が露出する側の端面形状が略矩形であり、固定部材(2)の中空糸膜開口側の端面形状が略円形である、中空糸膜モジュール、又はこれを複数個配置した中空糸膜モジュールユニットを使用し、シート状中空糸膜(1)の外表面に微生物を付着させ、この外表面に被処理水を供給し、膜の中空部に

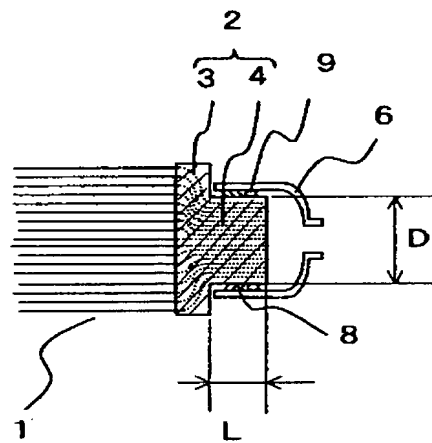
気体を供給して被処理水を浄化する、水処理方法。

- [19] 中空糸膜の中空部に凝縮した水分を加圧ガスによって外部に排出する、請求項1  
8記載の水処理方法。

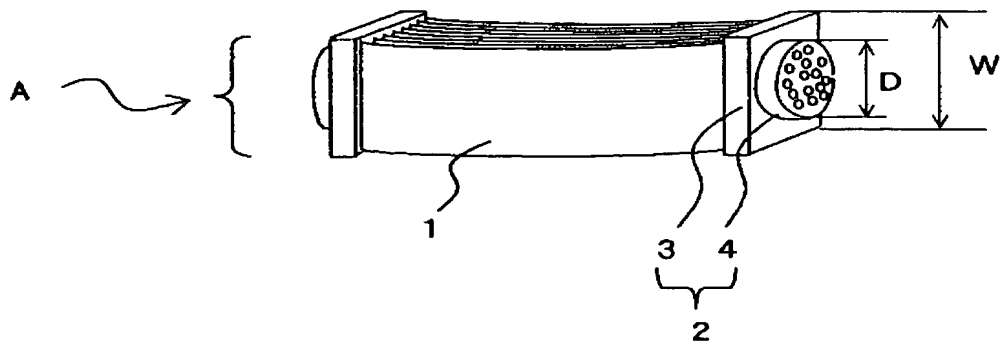
[図1]



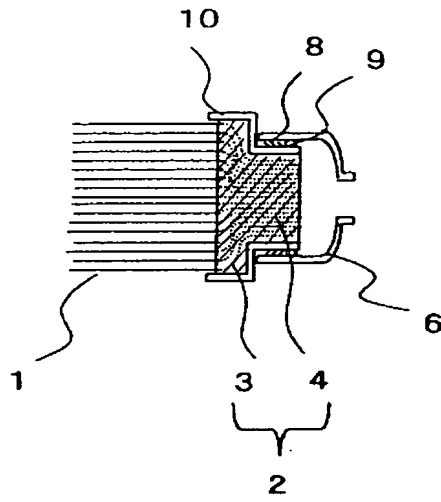
[図2]



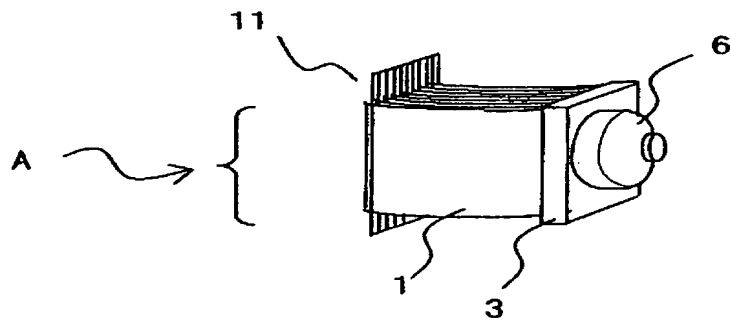
[図3]



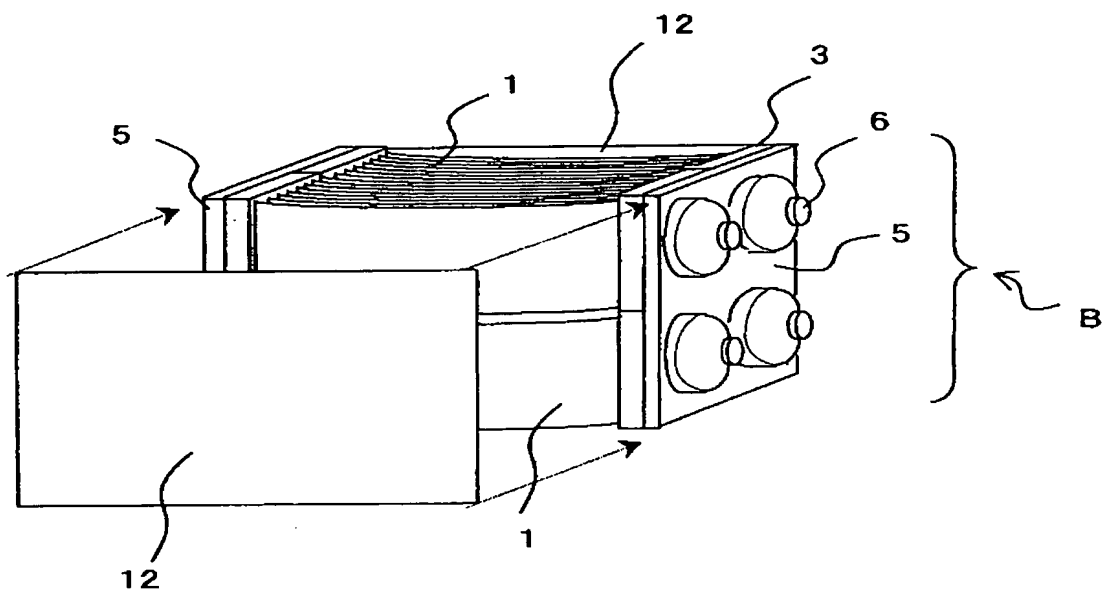
[図4]



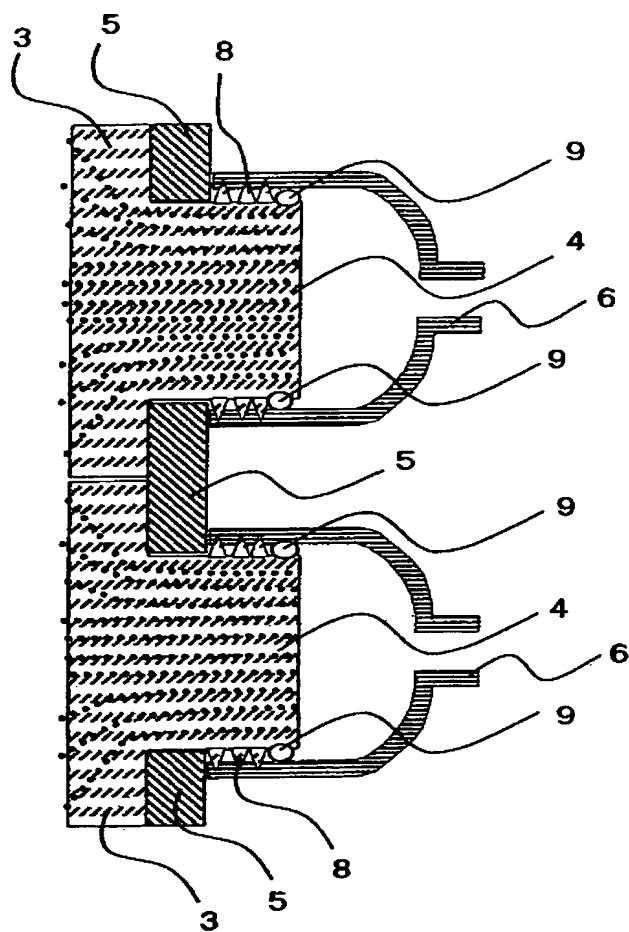
[図5]



[図6]



[図7]



[図8]

